

Sains Malaysiana 46(12)(2017): 2523–2528  
<http://dx.doi.org/10.17576/jsm-2017-4612-30>

## Peramalan Bahan Pencemar Ozon ( $O_3$ ) di Universiti Pendidikan Sultan Idris, Tanjung Malim, Perak, Malaysia Mengikuti Monsun dengan Menggunakan Pendekatan Kalut

(Forecasting Ozone Pollutant ( $O_3$ ) in Universiti Pendidikan Sultan Idris, Tanjung Malim,  
Perak, Malaysia based on Monsoon using Chaotic Approach)

WAN NUR AFATEEN BINTI WAN MOHD ZAIM\* & NOR ZILA ABD HAMID

### ABSTRAK

Peramalan bahan kepekatan ozon ( $O_3$ ) adalah sangat penting kerana udara yang mengandungi  $O_3$  boleh menyebabkan pelbagai penyakit kronik seperti kanser dan asma. Kajian ini merupakan kajian rintis dengan menggunakan pendekatan kalut bagi meramal kepekatan  $O_3$  di kawasan pendidikan di Malaysia. Data yang dikaji merupakan siri masa  $O_3$  yang dicerap mengikut jam di stesen yang terletak di Universiti Pendidikan Sultan Idris, Tanjung Malim, Perak. Sebelum model peramalan dibina, siri masa diuji terlebih dahulu untuk mengenal pasti sama ada dinamik kalut hadir ataupun tidak. Pendekatan kalut mempunyai dua langkah iaitu pembinaan semula ruang fasa dan proses peramalan. Pembinaan semula ruang fasa memerlukan penetapan dua parameter terlebih dahulu iaitu masa tunda  $\tau$  dan matra pembedaan  $m$ . Kedua-dua parameter tersebut masing-masing diperolehi daripada kaedah purata maklumat bersama dan kaedah Cao. Melalui plot ruang fasa dan kaedah Cao, sifat kalut didapati hadir dalam siri masa  $O_3$ . Oleh itu, model peramalan melalui pendekatan kalut menggunakan kaedah penghampiran purata setempat dibina. Pendekatan kalut ini merupakan salah satu kaedah alternatif yang boleh digunakan untuk meramal siri masa  $O_3$ . Pekali korelasi adalah dipilih sebagai petunjuk prestasi bagi memberi gambaran tentang kekuatan hubungan antara nilai sebenar dengan nilai peramalan. Nilai pekali korelasi bagi siri masa  $O_3$  ketika Monsun Timur Laut adalah 0.8921. Manakala, nilai pekali korelasi ketika Monsun Barat Daya adalah 0.9002. Diharap dengan pendekatan kalut ini dapat membantu pihak bertanggungjawab untuk mengawal pencemaran  $O_3$  di kawasan pendidikan di Malaysia.

**Kata kunci:** Kaedah penghampiran purata setempat; Monsun Barat Daya; Monsun Timur Laut; pendekatan kalut; ozon;

### ABSTRACT

Forecasting concentration of ozone ( $O_3$ ) is very important because the air containing  $O_3$  can cause chronic diseases such as cancer and asthma. This study is a pilot study using chaotic approach to forecast the concentration of  $O_3$  in Malaysian education area. The studied data were the hourly  $O_3$  observed at the station located at Universiti Pendidikan Sultan Idris, Tanjung Malim, Perak. Before the forecasting model can be built, the time series are tested in advance to determine the existence of chaotic dynamics. Chaotic approach has two steps, namely the reconstruction of phase space and forecasting process. Before the phase space can be reconstructed, there are two parameters that need to be determined namely the delay time  $\tau$  and embedding dimension  $m$ . Both of these parameters were obtained from the average mutual information method and Cao method, respectively. Through phase space plot and Cao method, chaotic dynamic are present in the studied  $O_3$  time series. Therefore, the forecasting model through chaotic approach using local mean approximation method is built. This chaotic approach is one of the alternative methods that can be used to forecast the  $O_3$  time series. Correlation coefficient is chosen to present the relationship between the observed value and forecasted value. The correlation coefficient for the  $O_3$  time series during Northeast Monsoon is 0.8921. Meanwhile, the value of the correlation coefficient during Southwest Monsoon is 0.9002. It is hoped that the chaotic approach can help stakeholders to manage  $O_3$  pollution in Malaysian education area.

**Keywords:** Chaotic approach; local average approximation method; Northeast Monsoon; ozone; Southwest Monsoon

### PENGENALAN

Bernafas dan menyedut udara yang mempunyai  $O_3$  boleh menyebabkan penyakit berbahaya dalam sistem pernafasan (Mudway & Kelly 2000). Dalam kajian terkini yang dijalankan oleh Cakmak et al. (2016) dan Madaniyazi et al. (2016), mendapati bahawa pencemaran  $O_3$  telah

meningkatkan kadar kematian. Ini kerana bahan pencemar  $O_3$  sering kali dikaitkan dengan penyakit kronik yang berkaitan dengan kardiovaskular dan pernafasan. Maka, peramalan ke atas siri masa  $O_3$  adalah sangat penting.

Peramalan  $O_3$  di Malaysia telah dijalankan melalui aplikasi kaedah regresi linear berganda dan kaedah

rangkaian neural oleh Ghazali et al. (2010), Muhamad et al. (2015), Ramli et al. (2010), Sousa et al. (2007) dan Tan et al. (2016). Kaedah regresi ini melibatkan penggunaan data pemboleh ubah daripada faktor yang mempengaruhi kepekatan  $O_3$  seperti faktor meteorologi dan gas. Namun, sekiranya data daripada pemboleh ubah yang diperlukan tidak mencukupi, satu pendekatan alternatif diperlukan. Maka, pendekatan kalut adalah dicadangkan.

Sifat data boleh dikategorikan kepada dua iaitu berketentuan dan rawak. Dinamik data berketentuan yang bergerak dari titik awal dan melalui trajektorinya dapat dilihat. Maka, data berketentuan boleh diramal. Data yang tidak berketentuan adalah rawak dan tidak boleh diramal. Sifat kalut berada di antara berketentuan dan rawak (Abarbanel 1996). Data yang kalut peka terhadap syarat awal. Sedikit perubahan pada syarat awal memberi kesan yang besar pada masa hadapan. Maka, hanya peramalan jangka masa pendek dibenarkan bagi pendekatan kalut (Sprott 2003). Beberapa negara telah mengaplikasikan pendekatan kalut bagi menganalisis dan meramal siri masa  $O_3$ , antaranya negara India (Indira et al. 2016) dan Turki (Kocak et al. 2000). Di Malaysia, kaedah ini juga telah diguna pakai oleh Adenan dan Noorani (2015) ke atas siri masa aliran sungai dan Hamid dan Noorani (2014) ke atas siri masa zarah terampai ( $PM_{10}$ ). Selain itu, pendekatan kalut juga diaplikasi ke atas siri masa  $O_3$  di bandar oleh Hamid et al. (2013) dan di luar bandar oleh Hamid dan Noorani (2013). Namun, pendekatan kalut ini belum pernah dijalankan di kawasan pendidikan di Malaysia. Kajian ini merupakan sebuah kajian rintis. Oleh itu, hanya satu kawasan pendidikan yang dipilih. Kajian ini difokuskan di Universiti Pendidikan Sultan Idris (UPSI), Tanjung Malim, Perak. Pemilihan UPSI kerana selain kawasan pendidikan yang menjadi kawasan tumpuan orang awam, menurut laporan media oleh Kementerian Sumber Asli dan Alam Sekitar (2015),

UPSI juga pernah mencatatkan bacaan Indeks Pencemaran Udara (IPU) tidak sihat.

## METOD

### DATA SIRI MASA OZON

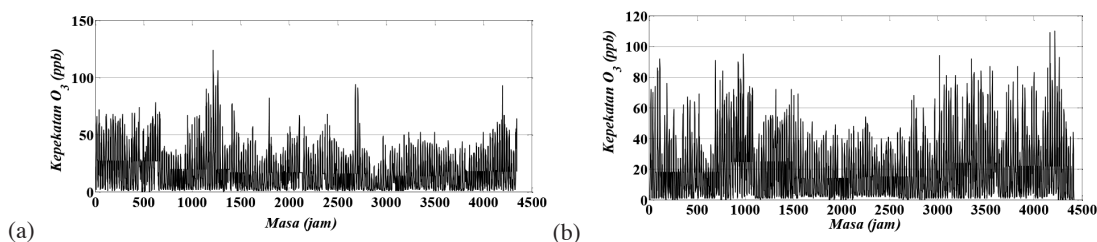
Siri masa  $O_3$  dicerap setiap jam. Data  $O_3$  ini diperoleh daripada pihak Jabatan Alam Sekitar. Siri masa yang dipilih adalah dari tahun 2013 dan 2014. Ini kerana berbanding tahun lain, siri masa  $O_3$  ketika tahun 2013 dan 2014 adalah hampir lengkap. Siri masa ini diasingkan mengikut monsun iaitu Monsun Timur Laut (1 September 2013 hingga 28 Februari 2014) dan Monsun Barat Daya (1 Mac 2014 hingga 31 Ogos 2014). Keseluruhan tempoh siri masa adalah selama 4344 jam bagi Monsun Timur Laut dan 4416 jam bagi Monsun Barat Daya. Siri masa direkodkan dalam unit ppb (bahagian per billion). Rajah 1(a) dan 1(b) merupakan rajah siri masa kepekatan  $O_3$  pada Monsun Timur Laut dan Monsun Barat Daya di Tanjung Malim, Perak. Penerangan statistik bagi siri masa boleh dirujuk dalam Jadual 1.

### PENDEKATAN KALUT

Pendekatan kalut melibatkan dua peringkat iaitu pembinaan semula ruang fasa dan peramalan. Dalam kajian ini, kaedah purata maklumat bersama dan kaedah Cao digunakan untuk mengesan kehadiran dinamik kalut manakala kaedah penghampiran purata setempat akan digunakan bagi tujuan peramalan.

### PEMBINAAN SEMULA RUANG FASA

Data yang dicerap direkodkan dalam bentuk vektor satu-matra,  $X$  iaitu:



RAJAH 1. Siri Masa Kepekatan  $O_3$  (a) Monsun Timur Laut (b) Monsun Barat Daya

JADUAL 1. Penerangan statistik siri masa  $O_3$

	Monsun Timur Laut	Monsun Barat Daya
Purata	18.3985	19.6239
Maksimum	124	110
Minimum	0	0
Sisihan piawai	17.9458	19.9169
Varians	322.0517	396.6829

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\} \tag{1}$$

dengan  $N$  adalah jumlah jam pencerapan. Data  $X$  ini dibahagikan kepada dua iaitu  $X_{latihan}$  dan  $X_{ujian}$ .  $X_{latihan}$  dan  $X_{ujian}$  adalah:

$$X_{latihan} = \{x_1, x_2, \dots, x_l\} \tag{2}$$

$$X_{ujian} = \{x_{l+1}, x_{l+2}, \dots, x_N\}. \tag{3}$$

$X_{latihan}$  digunakan untuk mencari parameter-parameter dalam pembinaan semula ruang fasa.  $X_{ujian}$  disimpan untuk menguji prestasi model peramalan. Data  $X_{latihan}$  akan dibina semula ke dalam ruang fasa matra-  $m$ :

$$Y_i^m = (x_i, x_{i+\tau}, x_{i+2\tau}, \dots, x_{i+(m-1)\tau}). \tag{4}$$

Dengan  $\tau$  adalah masa tunda dan  $m$  adalah matra pembenaman. Dalam kajian ini, kaedah purata maklumat bersama dan kaedah Cao telah dipilih bagi mencari parameter  $\tau$  dan  $m$  masing-masing.

KAEDAH PURATA MAKLUMAT BERSAMA

Nilai  $\tau$  merupakan sela masa bagi menggambarkan struktur penarik ruang fasa. Jika  $\tau$  terlalu kecil, ruang fasa tidak bebas lalu mengakibatkan kehilangan ciri penarik. Namun, jika  $\tau$  terlalu besar, mungkin terdapat data yang tidak berkorelasi antara satu sama lain (Velickov 2004).

Purata maklumat bersama ialah:

$$I(T) = \frac{1}{N} \sum_{a=1}^N p(u_a, u_{a+T}) \log_2 \left[ \frac{p(u_a, u_{a+T})}{p(u_a) p(u_{a+T})} \right] \tag{5}$$

yang mana  $p(u_a)$  dan  $p(u_{a+T})$  adalah kebarangkalian mendapat  $u_a$  dan  $u_{a+T}$  dalam siri masa  $X_{latihan}$  manakala  $p(u_a, u_{a+T})$  adalah ketumpatan kebarangkalian gabungan bagi  $p(u_a)$  dan  $p(u_{a+T})$ . Graf  $T$  melawan  $I(T)$  diplot dan  $\tau$  adalah nilai minimum pertama  $T$ . Untuk nilai  $\tau$  yang telah diperolehi, gambarajah ruang fasa dibina. Ruang fasa diplotkan dalam satah dua matra  $\{x(t), x(t + \tau)\}$ . Kewujudan sebuah rantau penarik menunjukkan bahawa dinamik data adalah kalut (Sivakumar 2002).

KAEDAH CAO

Matra pembenaman  $m$  dikira menggunakan kaedah Cao (1997) kerana selain membantu dalam pengiraan parameter  $m$ , kaedah ini juga dapat membezakan antara sifat kalut atau rawak.  $m$  merupakan bilangan pemboleh ubah atau faktor minimum yang mempengaruhi sesebuah siri masa.  $m$  dari kaedah Cao adalah dikira melalui:

$$E1(m) = E(m + 1) / E(m) \tag{6}$$

dengan

$$E(m) = \frac{1}{N - m\tau} \sum_{n=1}^{N-m\tau} \frac{\|Y_n^{m+1} - Y_{jj}^{m+1}\|}{\|Y_n^m - Y_{jj}^m\|} \tag{7}$$

dengan  $\|\bullet\|$  adalah norma maksimum.  $Y_{jj}^m$  adalah jiran terdekat kepada  $Y_n^m$ . Graf  $m$  melawan  $E1(m)$  adalah diplot. Jika  $E1(m)$  berhenti berubah apabila nilai  $m$  lebih besar daripada nilai  $m_0$ , maka  $m_{0+1}$  adalah matra pembenaman minimum yang dicari. Kaedah Cao ini juga boleh digunakan untuk menentukan sama ada siri masa ini rawak atau kalut. Jika nilai  $E1(m)$  terus menepu dengan peningkatan  $m$ , maka, siri masa merupakan kalut. Jika tiada penepuan berlaku, siri masa adalah rawak. Cao (1997) turut memperkenalkan pengiraan  $E2(m)$  dengan

$$E2(m) = E^*(m + 1) / E^*(m) \tag{8}$$

dan

$$E^*(m) = \frac{1}{N - m\tau} \sum_{n=1}^{N-m\tau} |x_{n+m\tau}^m - x_{jj+m\tau}^m| \tag{9}$$

Jika dinamik kalut hadir dalam siri masa, nilai masa depan siri masa adalah berdasarkan nilai yang lepas dan nilai  $E2(m)$  tidak tetap untuk  $m$ . Dalam istilah lain, wujud beberapa  $m$  atau sekurang-kurangnya satu  $m$  dengan  $E2(m) \neq 1$ . Maka, jika terdapat  $E2(m) \neq 1$  dinamik kalut hadir dalam siri masa yang diperhatikan.

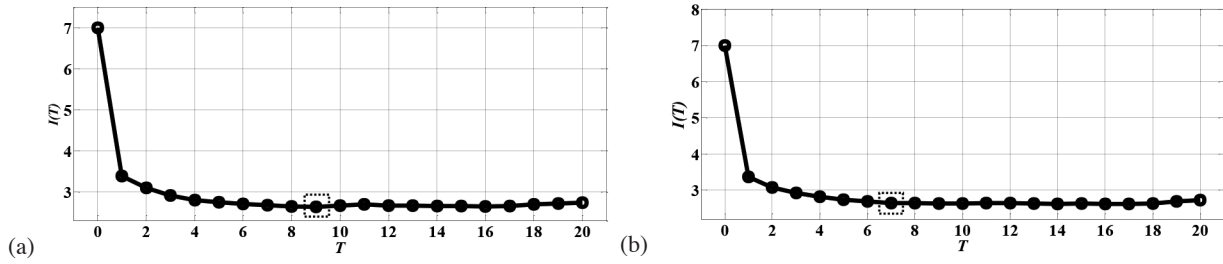
KAEDAH PENGHAMPIRAN PURATA SETEMPAT

Siri masa daripada (1) dibina semula ke dalam ruang fasa (4) dengan menggunakan nilai  $\tau$  daripada kaedah purata maklumat bersama dan nilai  $m$  yang diperolehi daripada kaedah Cao. Dinamik ruang fasa ditafsirkan melalui fungsi  $f$  melalui persamaan  $Y_{i+1}^m = f(Y_i^m)$ .  $Y_i^m$  merupakan ruang fasa terakhir dan  $Y_{i+1}^m$  merupakan ruang fasa di masa hadapan. Melalui pendekatan setempat, peramalan  $Y_{i+1}^m$  dilakukan berdasarkan nilai jiran terdekat kepada  $Y_i^m$  dalam sesebuah kawasan kejiranan.  $k$  jiran terdekat  $Y_i^m$  dipilih berdasarkan nilai minimum  $\|Y_i^m - Y_{i'}^m\|$  dengan  $i' < i$ . Jika hanya satu jiran terdekat, maka penghampiran bagi adalah  $Y_{i+1}^m$ . Oleh kerana kebiasaannya  $k > 1$ , peramalan diambil sebagai purata bagi nilai  $Y_i^m$  iaitu  $Y_{i+1}^m = \frac{1}{k} \sum_{q=1}^k Y_{i_q}^m$ . Nilai  $k$  ditentukan melalui kaedah cuba dan jaya manakala prestasi peramalan diukur menggunakan pekali korelasi. Nilai pekali korelasi yang menghampiri satu menunjukkan siri masa yang diramal adalah hampir dengan siri masa yang sebenar.

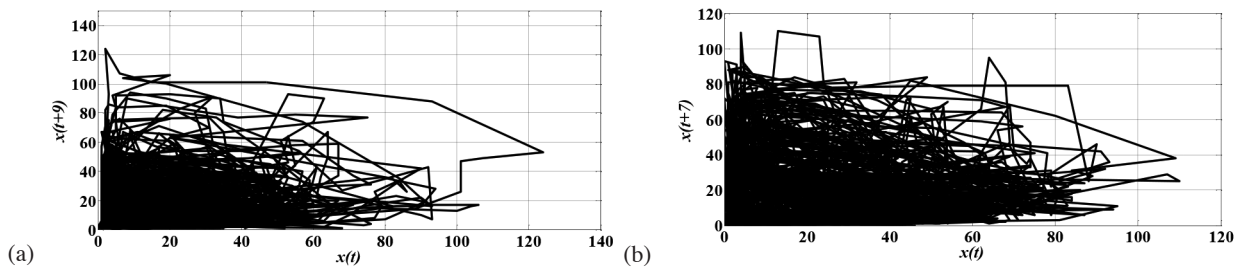
KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

SIFAT KALUT SIRI MASA OZON

Rajah 2 merupakan keputusan bagi kaedah purata maklumat bersama. Keputusan menunjukkan bahawa bagi data Monsun Timur Laut, nilai  $\tau$  yang diperolehi



RAJAH 2. Keputusan Purata Maklumat Bersama (a) Monsun Timur Laut (b) Monsun Barat Daya



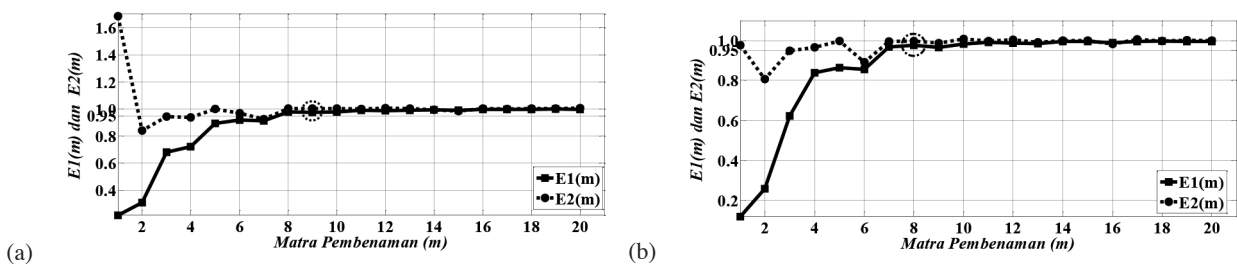
RAJAH 3. Plot Ruang Fasa (a) Monsun Timur Laut (b) Monsun Barat Daya

adalah sembilan. Manakala, nilai  $\tau$  yang diperoleh bagi Monsun Barat Daya adalah tujuh. Rajah 3(a) dan 3(b) merupakan plot ruang fasa dua matra yang dibina dengan menggunakan  $\tau = 9$  dan  $\tau = 7$ . Melalui ruang fasa ini, dinamik data yang bermula daripada satu titik asal, melalui trajektori dan bergerak dalam satu ruang dapat dilihat. Terdapat beberapa titik terpencil yang menjauhi ruang itu. Hal ini berkemungkinan terdapat gangguan hingar yang datang daripada bendasing lain yang turut tercerap bersama ketika aktiviti merekod data siri masa  $O_3$ . Namun, kebanyakan titik berada dalam trajektori ruang itu dan wujud satu rantau penarik dalam ruang fasa yang mencadangkan bahawa dinamik kalut hadir dalam siri masa  $O_3$  yang diuji (Sivakumar 2002).

Daripada Rajah 4(a) dan 4(b), dapat dilihat nilai mula menepu selepas  $m_0 = 8$  bagi Monsun Timur Laut dan  $m_0 = 7$  bagi Monsun Barat Daya. Maka, nilai matra pembenaman,  $m$  yang dicari adalah sembilan bagi Monsun Timur Laut dan lapan bagi Monsun Barat Daya ( $m_0 + 1 = m$ ). Kehadiran kalut dapat dikesan kerana  $m$  mula menepu pada  $m = 9$  dan  $m = 8$ . Kehadiran dinamik kalut dalam siri masa  $O_3$

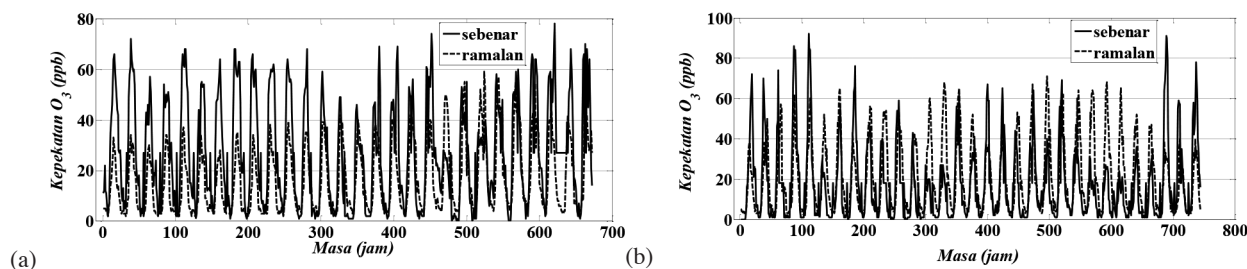
bagi Monsun Timur Laut dan Monsun Barat Daya dapat diyakinkan lagi kerana melalui Rajah 4, terdapat sekurang-kurangnya satu nilai  $E2(m) \neq 1$ .

FAKTOR YANG MEMPENGARUHI SIRI MASA KEPEKATAN OZON Keputusan daripada kaedah Cao mendapati sekurang-kurangnya sembilan pemboleh ubah yang mempengaruhi siri masa kepekatan  $O_3$  pada Monsun Timur Laut dan lapan pemboleh ubah pada Monsun Barat Daya. Menurut kajian terkini yang dijalankan seperti Awang et al. (2016), Banan et al. (2013) dan Ismail et al. (2016),  $O_3$  di Malaysia dipengaruhi oleh kehadiran cahaya matahari, kehadiran gas-gas pelopor seperti nitrogen oksida ( $NO_x$ ), metana ( $CH_4$ ) dan karbon monoksida (CO) melalui aktiviti perindustrian serta pelepasan kenderaan bermotor, kepadatan penduduk dan kadar urbanisasi. Selain itu, kepekatan  $O_3$  juga dipengaruhi oleh faktor meteorologi seperti suhu, bayu laut, kelembapan relatif, radiasi solar, tenaga solar, arah angin serta kelajuan angin. Daripada senarai ini terdapat lebih daripada sembilan faktor yang



RAJAH 4. Keputusan kaedah Cao (a) Monsun Timur Laut (b) Monsun Barat Daya





RAJAH 5. Keputusan peramalan menggunakan kaedah penghampiran purata setempat ketika (a) Monsun Timur Laut (b) Monsun Barat Daya

mempengaruhi  $O_3$ . Oleh itu, keputusan nilai  $m$  (sekarang-kurangnya sembilan pemboleh ubah yang mempengaruhi siri masa kepekatan  $O_3$  pada Monsun Timur Laut dan lapan pemboleh ubah pada Monsun Barat Daya) daripada kaedah Cao adalah serasi dengan bilangan faktor yang disenaraikan. Bilangan pemboleh ubah pada Monsun Timur Laut adalah lebih tinggi berbanding Monsun Barat Daya. Hal ini berkemungkinan, ketika Monsun Timur Laut faktor meteorologi lain seperti hujan juga boleh mempengaruhi  $O_3$  kerana hujan lebat sering melanda Malaysia ketika Monsun Timur Laut.

#### KEPUTUSAN PERAMALAN

Dengan menggunakan  $\tau = 9$  dan  $m = 9$  bagi Monsun Timur Laut,  $\tau = 7$  dan  $m = 8$  bagi Monsun Barat Daya, ruang fasa dibina. Peramalan satu jam ke hadapan menggunakan kaedah penghampiran purata setempat dilakukan dengan menggunakan  $k = 50$ . Nilai pekali korelasi antara data sebenar dan data peramalan masing-masing adalah 0.8921 dan 0.9002. Nilai pekali korelasi bagi Monsun Timur Laut adalah lebih rendah berbanding Monsun Barat Daya. Ini berkemungkinan kerana data  $O_3$  yang dicerap ketika Monsun Timur Laut mengandungi gangguan hingar yang terhasil semasa proses cerapan berlaku. Selain itu, berkemungkinan juga faktor yang mempengaruhi  $O_3$  ketika Monsun Timur Laut adalah lebih berbanding Monsun Barat Daya. Rajah 5(a) dan 5(b) merupakan graf perbandingan data sebenar dan data yang diramal. Boleh dilihat bahawa terdapat nilai kepekatan yang terlalu tinggi dalam sesuatu tempoh masa. Nilai terencil ini berkemungkinan berlaku kerana terdapat bendasing lain seperti habuk dan bahan pencemar lain yang bercampur dengan data  $O_3$ . Jika tapisan gangguan hingar dilakukan pada masa hadapan, berkemungkinan nilai pekali korelasi dapat dipertingkatkan. Secara keseluruhannya, pekali korelasi bagi Monsun Timur Laut dan Monsun Barat Daya adalah cemerlang. Hal ini kerana, menurut Hardy (2005) pekali korelasi yang lebih daripada 0.8 menunjukkan bahawa wujud korelasi yang tinggi antara data sebenar dengan data yang diramal. Walau bagaimanapun, terdapat nilai tinggi yang tidak boleh diramal, namun daripada segi pengiraan pekali korelasi, kajian rintis ini boleh dianggap berjaya.

#### KESIMPULAN

Siri masa  $O_3$  yang dicerap di stesen Universiti Pendidikan Sultan Idris, Tanjung Malim menunjukkan sifat kalut hadir dalam plot ruang fasa dan kaedah Cao. Data sebulan yang diramal dengan menggunakan pendekatan kalut melalui kaedah penghampiran purata setempat menunjukkan prestasi yang baik. Pendekatan kalut merupakan pendekatan alternatif yang boleh digunakan untuk meramal  $O_3$ . Penggunaan pendekatan kalut boleh diperluaskan pada masa hadapan ke atas pencemar yang lain seperti CO dan  $SO_2$ . Selain itu, kaedah peramalan juga boleh ditambah baik agar siri masa  $O_3$  yang tinggi boleh diramal.

#### PENGHARGAAN

Jutaan terima kasih diucapkan kepada Jabatan Alam Sekitar atas perkongisan data. Kajian ini dibiaya melalui geran penyelidikan dengan kod 2015-0174-102-72 (RAGS/1/2015/SG0/UPSI/02/1).

#### RUJUKAN

- Abarbanel, H.D.I. 1996. *Analysis of Observed Chaotic Data*. New York: Springer-Verlag.
- Adenan, N.H. & Noorani, M.S.M. 2015. Peramalan data siri masa aliran sungai di dataran banjir dengan menggunakan pendekatan kalut. *Sains Malaysiana* 44(3): 463-471.
- Awang, N.R., Elbayoumi, M., Ramli, N.A. & Yahaya, A.S. 2016. The Influence of spatial variability of critical conversion point (CCP) in production of ground level ozone in the context of tropical climate. *Aerosol and Air Quality Research* 16(1): 153-165.
- Banan, N., Latif, M.T., Juneng, L. & Ahamad, F. 2013. Characteristics of surface ozone concentrations at stations with different backgrounds in the Malaysian Peninsula. *Aerosol and Air Quality Research* 13(3): 1090-1106.
- Cakmak, S., Hebborn, C., Vanos, J., Crouse, D.L. & Burnett, R. 2016. Ozone exposure and cardiovascular-related mortality in the Canadian Census Health and Environment Cohort (CANHEC) by spatial synoptic classification zone. *Environmental Pollution* 214(2): 589-599.
- Cao, L. 1997. Practical method for determining the minimum embedding dimension of a scalar time series. *Physica D* 110(1): 43-50.
- Ghazali, N.A., Ramli, N.A., Yahaya, A.S., Yusof, N.F.F.M.D., Sansuddin, N. & Al Madhoun, W.A. 2010. Transformation

- of nitrogen dioxide into ozone and prediction of ozone concentrations using multiple linear regression techniques. *Environmental Monitoring and Assessment* 165(1-4): 475-489.
- Hamid, N.Z.A. & Noorani, M.S.M. 2013. An improved prediction model of ozone concentration time series based on chaotic approach. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 7(11): 206-211.
- Hamid, N.Z.A. & Noorani, M.S.M. 2014. Suatu kajian perintis menggunakan pendekatan kalut bagi pengesanan sifat dan peramalan siri masa kepekatan PM10. *Sains Malaysiana* 43(3): 475-481.
- Hamid, N.Z.A., Noorani, M.S.M., Juneng, L. & Latif, M.T. 2013. Prediction of ozone concentrations using nonlinear prediction method. *AIP Conference Proceedings* 1522: 125-131.
- Hardy, K. 2005. *Linear Algebra for Engineers and Scientists using Matlab*. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Indira, P., Inbanathan, S.S.R., Selvaraj, R.S. & Suresh, A.A. 2016. Chaotic analysis on surface ozone measurements at tropical urban coastal station Chennai, India. *IOSRD International Journal of Earth Science* 2(1): 1-8.
- Ismail, M., Abdullah, S., Yuen, F.S. & Nurul Adyani, G. 2016. A ten-year investigation on ozone and its precursors at Kemaman, Terengganu, Malaysia. *EnvironmentAsia* 9(1): 1-8.
- Kocak, K., Saylan, L. & Sen, O. 2000. Nonlinear time series prediction of O<sub>3</sub> concentration in Istanbul. *Atmospheric Environment* 34(8): 1267-1271.
- Madaniyazi, L., Nagashima, T., Guo, Y., Pan, X. & Tong, S. 2016. Projecting ozone-related mortality in East China. *Environment International* 92-93: 165-172.
- Mudway, I.S. & Kelly, F.J. 2000. Ozone and the lung: A sensitive issue. *Mol. Aspects Med.* 21(1-2): 1-48.
- Muhamad, M., Ul-Saufie, A.Z. & Deni, S.M. 2015. Three days ahead prediction of daily 12 hour ozone (O<sub>3</sub>) concentrations for urban area in Malaysia. *Journal of Environmental Science and Technology* 8(3): 102-112.
- Ramli, N.A., Ghazali, N.D. & Shukri Yahaya, A. 2010. Diurnal fluctuations of ozone concentrations and its precursors and prediction of ozone using multiple linear regressions. *Malaysian Journal of Environmental Management* 11(2): 57-69.
- Sivakumar, B. 2002. A phase-space reconstruction approach to prediction of suspended sediment concentration in rivers. *Journal of Hydrology* 258(1-4): 149-162.
- Sousa, S.I.V., Martins, F.G., Alvim-Ferraz, M.C.M. & Pereira, M.C. 2007. Multiple linear regression and artificial neural networks based on principal components to predict ozone concentrations. *Environmental Modelling & Software* 22(1): 97-103.
- Sprott, J.C. 2003. *Chaos and Time-Series Analysis*. Oxford: Oxford University Press.
- Tan, K.C., Lim, H.S. & Mohd Zubir Mat Jafri. 2016. Prediction of column ozone concentrations using multiple regression analysis and principal component analysis techniques: A case study in Peninsular Malaysia. *Atmospheric Pollution Research* 7(3): 533-546.
- Velickov, S. 2004. Nonlinear dynamics and chaos with application to hydrodynamics and hydrological modelling. PhD Dissertation. Delft University of Technology, Netherlands (Unpublished).

Jabatan Matematik  
Fakulti Sains dan Matematik  
Universiti Pendidikan Sultan Idris  
35900 Tanjung Malim, Perak Darul Ridzuan  
Malaysia

\*Pengarang untuk surat-menyurat; email: ateenzaim@gmail.com

Diserahkan: 14 Februari 2017

Diterima: 7 Jun 2017